УДК 614.8.086:628.51:621.791

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ СВАРЩИКА ПРИ РАБОТЕ В ПОЛУОТКРЫТЫХ ПРОСТРАНСТВАХ ОГРАНИЧЕННОГО ОБЪЁМА*

Б. Ч. Месхи, Д. А. Корончик, Ю. И. Булыгин, Ю. С. Черевань, М. Н. Стрекоз,

Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Koronchic@mail.ru bulyur_rostov@mail.ru
cherevan.jul@yandex.ru mstrekoz@mail.ru

Ставится задача экспериментального исследования распространения выделяемых вредных веществ и теплоты во время сварочного процесса в полуоткрытых пространствах с целью последующей верификации математической и компьютерной моделей. При производстве подобных работ сварщик зачастую находится в так называемых стеснённых условиях, где происходит быстрое нарастание содержания вредных веществ, причем условия работы усугубляются повышенным тепловым облучением и неудобным положением тела сварщика. Проведённые измерения концентраций вредных веществ и углекислого газа, образующихся при ацетиленокислородной сварке подтвердили предположение о превышении санитарно-гигиенического норматива ПДК. Аналогичные исследования температуры воздуха рабочей зоны доказали, что сварщик находится в неблагоприятных условиях производственного микроклимата.

Ключевые слова: тепломассоперенос, вентиляция, концентрация, вредные вещества, ограниченный объем.

Введение. В работе [1] была доказана ак-

UDC 614.8.086:628.51:621.791

EXPERIMENTAL STUDY OF THE WORKING ZONE AIR QUALITY OF THE WELDER WORKING IN SEMI-OPEN SPACES OF LIMITED VOLUME**

B.Ch. Meskhi , D. A. Koronchik, J. I. Bulygin, J. S. Cherevan, Strekoz M. N.,

Don State Technical University,
Rostov-on-Don, Russian Federation

Koronchic@mail.ru bulyur_rostov@mail.ru
cherevan.jul@yandex.ru mstrekoz@mail.ru

The article raises the problem of experimental study of the emission of harmful substances and the heat distribution in the welding process in semi-open spaces for the purpose of subsequent verification of mathematical and computer models. In such production welder often works in the so-called cramped conditions, where there is a rapid increase in the content of harmful substances, work-ing conditions are further worsened by high heat radiation and uncomfortable body position of the welder. The authors measured the concentrations of harmful substances and carbon dioxide produced by oxyacetylene welding, and confirmed their hypothesis of exceeding the sanitary maximum permissible concentration standard (MPC). Similar studies on the temperature of the working area proved that the welder works under adverse conditions of production microclimate.

Keywords: heat and mass transfer, ventilation, the concentration of harmful substances, limited amount.

Introduction. In the paper [1] the authors

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-38-60055 мол_а_дк (https://kias.rfbr.ru/Application.aspx?id=14677513

** The research is carried out at financial support of RFBR, within the scientific project No. 16-38-60055 мол_а_дк (https://kias.rfbr.ru/Application.aspx?id=14677513))

туальность данного исследования на основании того, что широкий спектр сварочных работ выполняется не на стационарных рабочих местах в производственных цехах, а зачастую в достаточно экстремальных производственных условиях. Это могут быть полузамкнутые ограниченные пространства, например, трюмы судов, цистерны, колодцы, ямы и другие труднодоступные места, где невозможно применить традиционные виды промышленной вентиляции. В этом случае содержание загрязняющих веществ быстро нарастает и значительно превышает величины предельно-допустимых концентраций (ПДК).

В [1, 2] был обоснован выбор математической модели тепломассопереноса для её реализации в стесненных условиях. Модель является адаптацией классической модели непрерывной среды на базе системы уравнений Навье-Стокса к решению комплексной задачи теплообмена со сложными движущимися граничными условиями. В этих же работах приведены результаты численного моделирования процессов загазованности и расчёт параметров микроклимата, воздействующих на сварщиков.

Однако ряд поставленных задач был не решён и потребовал проведения дополнительных исследований. Прежде всего речь идёт о экспериментальной проверке многочисленных модельных расчётов, проведённых в полузамкнутых пространствах.

Постановка и планирование эксперимента. Экспериментальные исследования для последующей идентификации математической и компьютерной модели процессов распространения выделяемых вредных веществ и теплоты сварочного процесса были проведены в гаражном помещении Донского государственного технического университета. Натурные исследования выполнены в среде заранее выбранного модельного объекта полузамкнутого объёма и заданным, расположенным внутри, стационарным источником загрязнений.

have proved the relevance of this study on the basis that a wide range of welding works is not performed at the fixed workstations in manufacturing workshops and often in quite extreme production conditions. It can be semi-closed limited spaces, such as bilges, tanks, wells, pits and other inaccessible places where it is impossible to apply traditional types of industrial ventilation. In this case, the content of contaminants increases rapidly and greatly exceeds maximum permissible concentrations (MPC) values.

In [1, 2] the authors have justified the choice of mathematical model of heat and mass transfer for its implementation in cramped conditions. The model is an adaptation of the classic model of continuous medium on the basis of the Navier-Stokes equations to the solution of a complex problem of heat transfer with complex moving boundary conditions. These papers provide the results of numerical simulation of gas accumulation processes and calculation of microclimate parameters, influencing a welder.

However, a number of tasks have not been solved and it required further research. First of all we are talking about experimental testing of numerous model calculations performed in semi-closed spaces.

Formulation and experiment planning. In the garage space of Don State Technical University the authors have carried out experimental studies for further identification of mathematical and computerized model of the propagation of emitted harmful substances and heat of the welding process. Field studies have been done in the environment of a pre-selected model object of semi-enclosed volume and with a pre-set stationary source of pollution located inside it.

The object of study is the inspection pit in

Объект исследования — смотровая яма, размещённая в гаражном помещении с размерами 14,35х6,3х3,7м, схема которого представлена на рис. 1. Ворота гаража имели размеры 3,15х2,83 и были открыты в ходе эксперимента. Тем самым была создана среда из двух полузамкнутых объёмов. Внутри смотровой ямы располагалось рабочее место сварщика. Источник выделения сварочных аэрозолей — ацетилено-кислородная сварка [3], с оборудованием, установленным в автомобиле и за гаражным помещением (рис. 1). На рис. 1 изображены: 1 — автомобиль; 2 — кислородный баллон под давлением с редуктором; 3 — ацетиленновый генератор.

the garage with dimensions of 14,35x6,3x3,7m, scheme of which is shown in Fig. 1. Garage doors of size 3,15x2,and 83 were opened in the course of the experiment. Thus the environment of two semi-enclosed volumes was created. The workplace of the welder was located inside the observation pit. The source of welding fumes emission is oxy-acetylene welding [3], with the equipment installed in the car and the garage space (Fig. 1). Fig. 1 shows: 1 — car; 2 — oxygen container with reducer; 3 — acetylene generator.

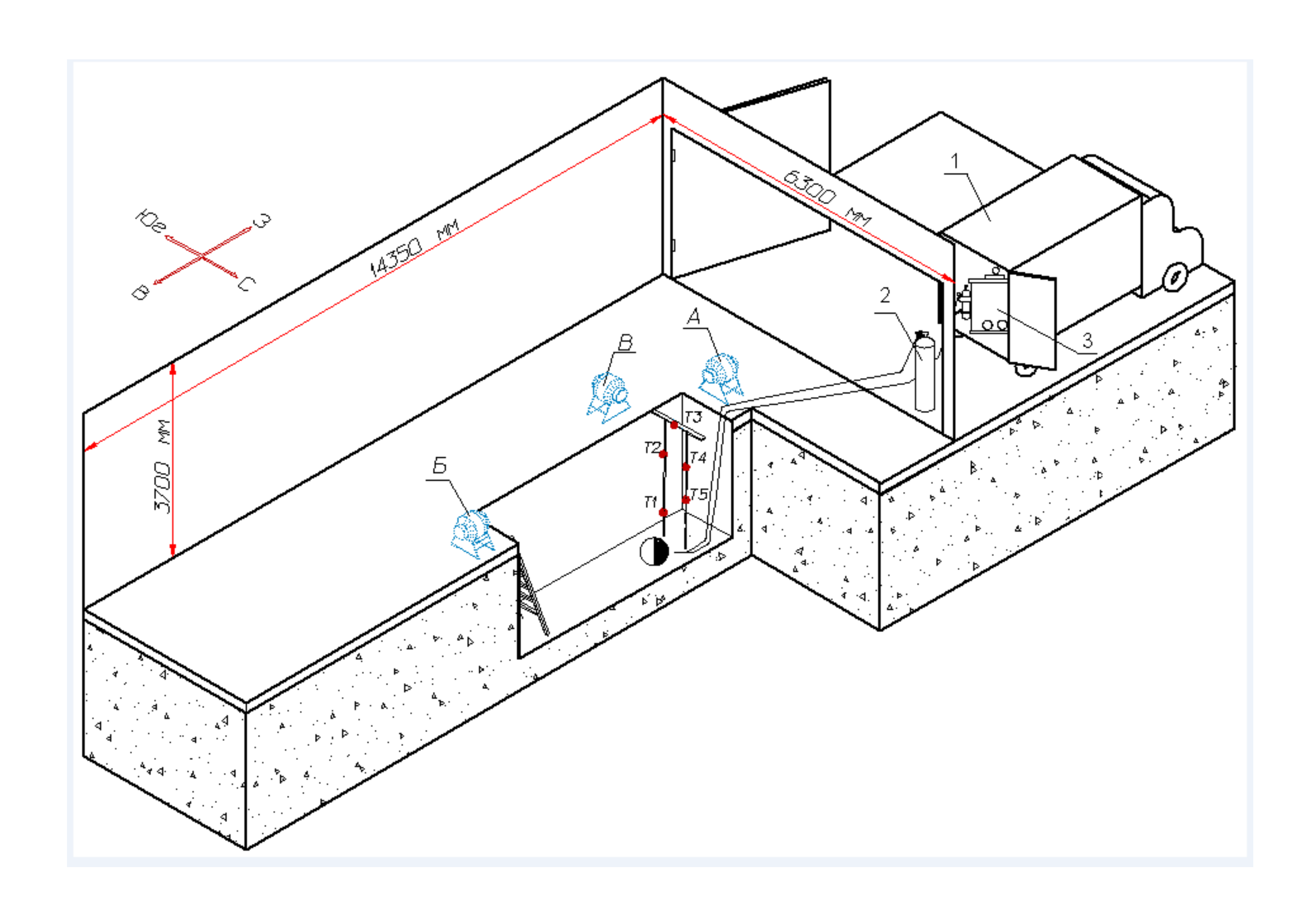


Рис. 1. Схема исследуемых помещений, размещение измерительных точек и оборудования при проведении экспериментов
Fig. 1. Scheme of the investigated areas, the location of the measuring points and the equipment during the experiments

При проведении эксперимента была определена интенсивность выброса основных вы-

The rate of the main substances emission (including pollutants) was determined during

деляемых (в том числе загрязняющих) веществ: углекислого газа, водяных паров, оксидов азота и избытков теплоты. Расчёты, проведённые исходя из соотношений компонентов в химической реакции горения ацетилена в кислороде при известном расходе ацетилена на горелку 0,25 м^3/ч, позволили определить выбросы CO_2 (0,275 г/с) и H_2O (0,05 г/с). Учитывая удельные нормативы выбросов оксидов азота [4], были рассчитаны интенсивность выделения NO2, равная 0,0018 г/с [5], и интенсивность тепловыделения — 913 Вт [6]. Одновременно в заданные моменты времени замерялись концентрации оксидов азота, угарного газа, углекислого газа, температура газо-воздушной смеси и скорость движения газо-воздушной среды в 5-ти характерных точках объёма исследуемой смотровой ямы, взятых в одной плоскости в непосредственной близости от источника загрязнений («Т1» (300; 300; 450), «Т2» (300; 1000; 450), «Т3» (350; 1450; 450), «Т4» (400; 1000; 450), «Т5» (400; 600; 450)), рис. 2.

Геометрические параметры источника загрязнения соответствуют координатам «С» (350; 100; 450) внутри ямы (рис. 2). Выбор измерительных точек был обусловлен возможностью детального исследования образующейся тепловой струи в характерных сечениях, а также на основании проведённых численных экспериментов с помощью метода конечных элементов в современной программной среде Solid Works Flow Simulations [2].

Экспериментальные исследования. Для измерения температур использовались термопары в количестве 5 штук, анемометр, газоанализатор Drager X-am 5000. Перед проведением измерений в струе были выполнены замеры параметров микроклимата в помещениях. На протяжении экспериментов температура окружающего воздуха составляла 25–27 °С.

Подвижность воздуха измерялась с помощью анемометра, устанавливаемого в зоне тепловой струи напротив вентилятора при каждом новом эксперименте.

Опыты ставились таким образом, чтобы со-

the experiment: carbon dioxide, water vapor, nitrogen oxides, and excess heat. The calculations, carried out on the basis of component ratios in chemical reaction of combustion of acetylene in oxygen at a known flow rate of acetylene to the burner 0,25 m^3/h, allowed to determine CO_2 (0.275 g) and H_2O (0.05 g/s) emissions. Given the specific standards of emissions of nitrogen oxides [4], the authors calculated the emission rate of NO_2, equal 0,0018 g/s [5], and the heat rate — 913 W [6]. At the same time in the given time they measured the concentration of nitrogen oxides, carbon monoxide, carbon dioxide, gas-air mixture temperature and the speed of movement of gas-air environment in 5 points of the studied observation pit, taken in the same plane in the vicinity to the source of contamination ("T1" (300; 300; 450), "T2" (300; 1000; 450), "T3" (350; 1450; 450), "T4" (400; 1000; 450), "T5" (400; 600; 450)), Fig. 2.

The geometrical parameters of the source of contamination correspond to coordinates “C” (350; 100; 450) inside the pit (Fig. 2). Selection of measuring points was due to the possibility of detailed studies of the resulting thermal jet in typical cross sections, as well as on the basis of the conducted numerical experiments using the finite element method in a modern software environment *Solid Works Flow Simulations* [2].

Experimental research. 5 pieces of thermocouple, anemometer, and gas analyser *Drager X-am 5000* were used for temperature measurement. Microclimate parameters were measured in the premises before taking measurements in the jet. During the experiments the ambient temperature was 25-27 °C.

In each new experiment air movement was measured with anemometer, installed in the area of thermal jet in front of the fan.

The experiments were set in such a way as to create different conditions of space ventila-

здать различные условия вентилирования пространства в исследуемом объекте. На рис. 1 и рис. 2 пунктиром показаны три различных положения вентилятора, которыми создавался приток воздуха на рабочее место сварщика. Эксперимент № 1 проводился в условиях отсутствия вентиляции; в эксперименте № 2 (положение вентилятора А) приток воздуха был направлен спереди на сварщика; в эксперименте № 3 приток воздуха направлен сзади на сварщика (положение вентилятора Б); в эксперименте №4 осуществлялась боковая подача воздуха слева от сварщика (положение вентилятора В). Для всех случаев были получены экспериментальные данные, которые приведены на рис. 3–6.

tion in the researched object. In Fig. 1 and Fig. 2 the dotted line shows three different positions of the fan, which created air flow to the workplace of the welder. Experiment No. 1 was conducted without ventilation; in experiment No. 2 (fan position A) the flow of air was directed to the front of the welder; in experiment No. 3 the flow of air is directed to back of the welder (position of the fan B); in experiment No. 4 the air supply was to the left of the welder (position of the fan C). For all cases the experimental data shown in Fig. 3-6 were obtained.

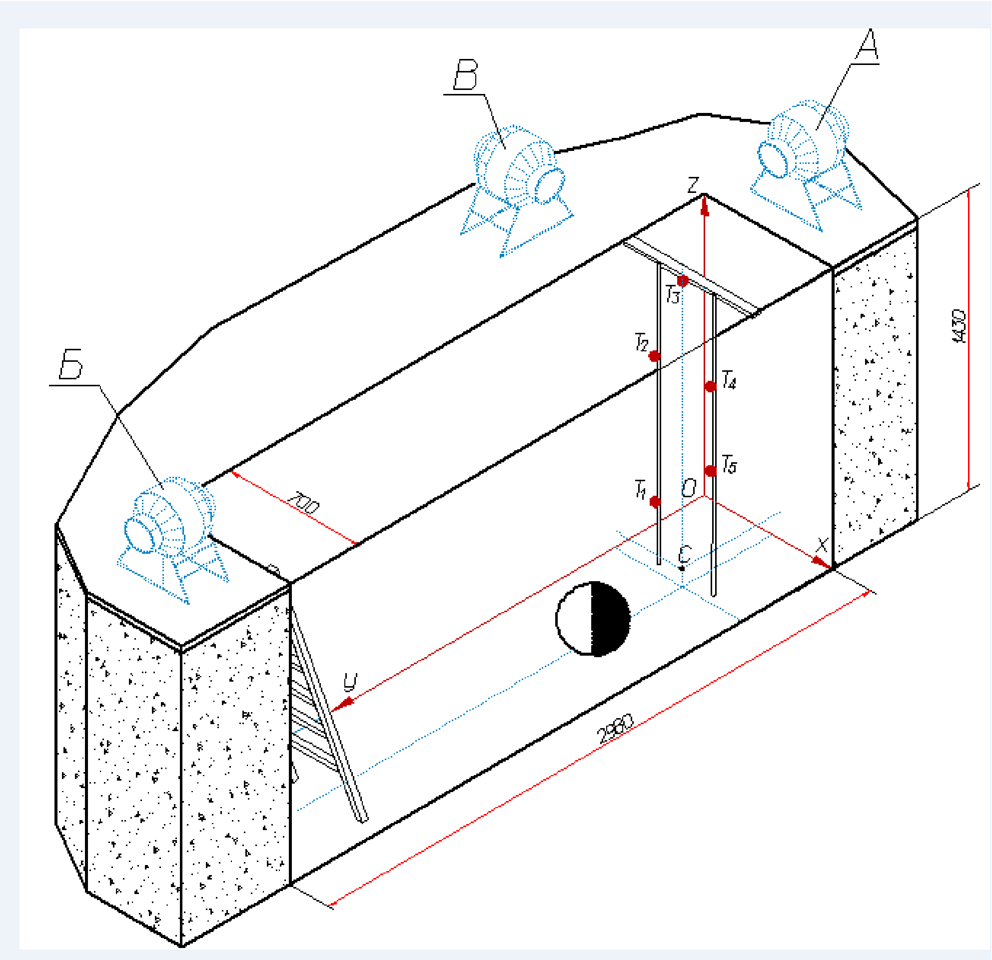


Рис. 2. Расположение измерительных точек в смотровой яме

Fig. 2. The position of the measuring points in the pit

Как следует из рис. 3, распределение температур в плоскости измерений носит следующий характер: в точке «T_1», наиболее близкой к источнику выделений, наблюдается

As can be seen in Fig. 3, the temperature distribution in the measurement plane is as follows: at point T_1 which is closest to the source of emission, the highest temperature

наибольшая температура, достигающая порядка 50–60^{0}С при всех видах вентилирования ямы и в случае без вентиляции. В других измерительных точках температура на 10–20^{0}С ниже. Наиболее благоприятным случаем размещения приточного вентилятора является эксперимент № 2, когда воздух подаётся спереди сварщика. Мы наблюдаем значительное снижение температур с 45^{0}С до 35^{0}С в точке «T_1» в течение 2-х минут эксперимента, да и в других точках температура не нарастает. В случае боковой подачи воздуха и подачи воздуха сзади эффекта снижения температур не наблюдается, они, напротив, даже возрастают.

reaches about 50-60^{0}C for all types of pit ventilation and in the case without ventilation. In the other measuring points the temperature was 10-20^{0}C lower. The best case of placing the supply fan presents experiment No. 2, when air is supplied to the front of the welder. We observed a significant decrease of temperatures from 45^{0}C to 35^{0}C at the point T_1 within 2 minutes of the experiment, and in the other points the temperature didn't increase. In the case of an air flow directed back from the welder or to his left there wasn't observed any decrease, on the contrary, it even increased.

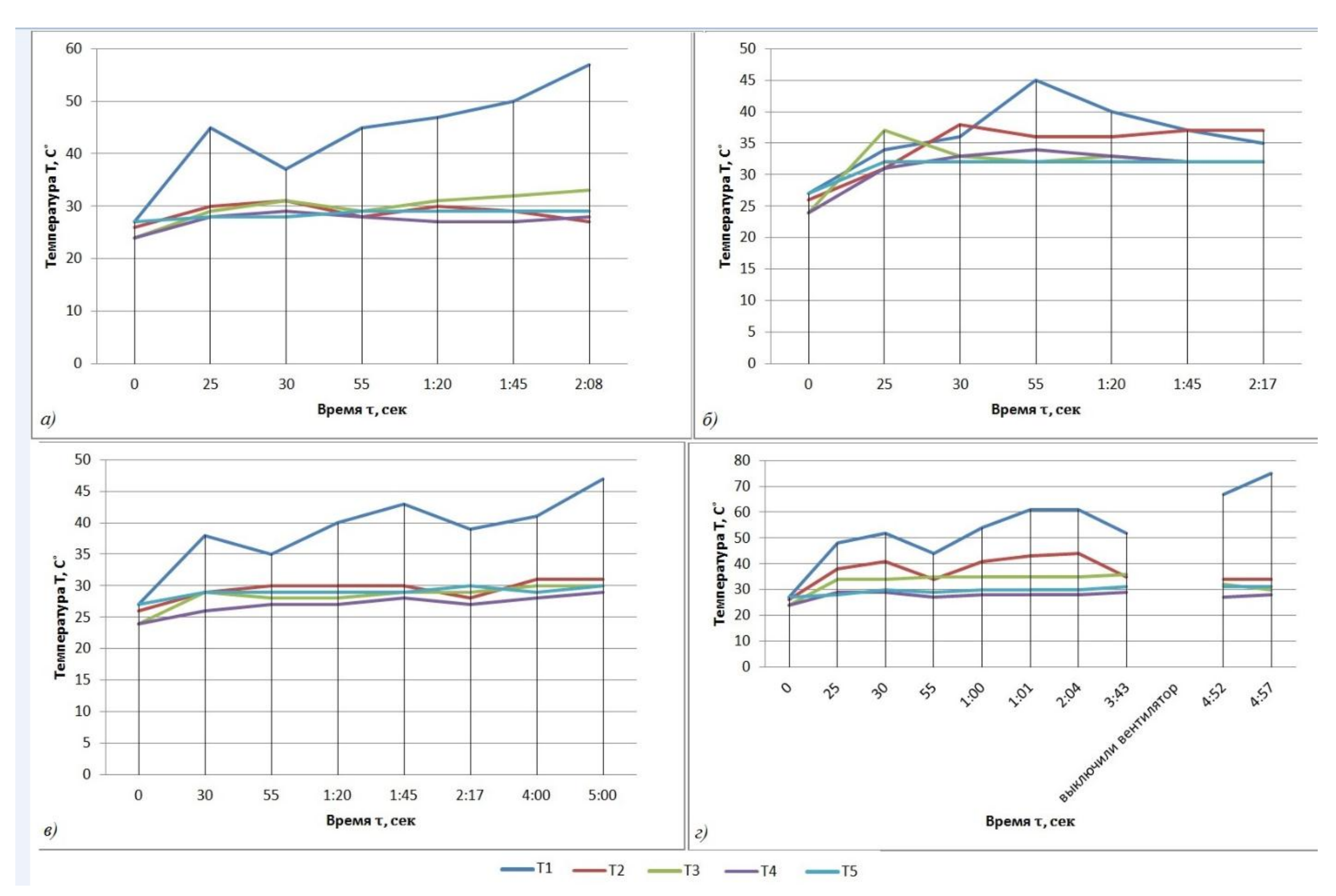


Рис. 3. Зависимости температур в измерительных точках от момента времени эксперимента: *а*) Эксперимент № 1. Сварка без вентилятора; *б*) Эксперимент № 2. Ветер спереди; *в*) Эксперимент № 3. Ветер сзади; *г*) Эксперимент № 4. Боковой ветер

Fig. 3. Dependencies of temperatures at the measuring points on the time of the experiment:
a) Experiment No. 1. Welding without fan;b) Experiment No. 2. Air flow from the front; C) Experiment No. 3. Air flow from the back; g) Experiment No. 4. Air flow from the side

Подвижность воздуха в экспериментах № 2 и № 3 оказалась равной 2 м/с в зоне расположения тепловой струи напротив вентиля-

Air movement in experiments No. 2 and No. 3 was 2 m/s in the area of the thermal jet opposite the ventilation unit, and the side flow of

ционного агрегата, а при боковой подаче воздуха в эксперименте № 4 — 1 м/с.

В эксперименте № 4 после 4-х минут опыта вентилятор был отклю-чён и наблюдался рост температур в рабочей зоне сварщика до 75 0С в точке «Т1».

На рис. 4 представлены графики, позволяющие оценить влияние глубины смотровой ямы на показания температур в измерительных точках в плоскости тепловой струи. В эксперименте № 4 при боковой подаче воздуха были получены максимальные температуры, которые соответствуют точке «Т1», расположенной на расстоянии 0,3 м от основания ямы. С уменьшением глубины погружения измерительной точки z в смотровой яме температура уменьшается и не превышает 450С.

air in experiment No. 4 was 1 m/s.

In experiment No. 4, after 4 minutes of experience the fan was disabled, and there was the temperature increase in the working zone of the welder to 75 0C at the point "T1".

Fig. 4 shows the graphs, allowing estimating the influence of the depth of the inspection pit on the temperature at the measuring points in the plane of heat flow. In experiment No. 4, with air flow from the side the authors obtained the maximum temperature, which correspond to the point T1 located at a distance of 0.3 m from the base of the pit. With decreasing immersion depth of the measuring point z in the pit the temperature is reduced and does not exceed 450C.

а) T=25 секунд
б) T=1 мин 20 сек
в) T=2 минуты
г) T=5 минут

1 Без вентилятора
2 Ветер сзади
3 Ветер спереди
4 Боковой ветер

1 Welding without fan
2 Air from the back
3 Air flow from the front
4 Air flow from the side

Рис. 4. Зависимости температур в измерительных точках от глубины ямы в различные моменты времени экспериментов

Fig. 4. Dependencies of the temperature at the measuring points on the pit depth at various time points of experiments

В точках «Т2» и «Т3» получены минимальные температуры в тепловой газо-воздушной струе, образованной при сварке. В эксперименте № 2, когда воздух подаётся спереди сварщика, наблюдается устойчивый эффект наиболее низких температур во всех измерительных точках.

Таким образом, сопоставление экспериментальных данных, приведённых на рис. 3 и рис. 4, позволяет сделать следующие выводы:

— максимальная температура в смотровой яме находится в точке «Т1», соответствующей наибольшей глубине и наиболее близкой к источнику выделений загрязнений при сварке;

— исследование различных режимов вентилирования смотровой ямы показывает, что в экспериментах № 1 (Сварка без вентилятора) и № 4 (Боковой ветер) имеет место рост температур и ухудшение условий труда сварщика;

— с уменьшением глубины погружения измерительной точки z в смотровой яме температура газо-воздушной среды уменьшается и в эксперименте № 2, когда воздух подаётся спереди сварщика, наблюдается устойчивый эффект наиболее низких температур во всех измерительных точках.

На рис. 5 и рис. 6 представлены экспериментальные данные по концентрациям вредных веществ и углекислому газу.

Контроль концентраций вредных веществ и углекислого газа, образующихся при ацетилено-кислородной сварке, важен с точки зрения обеспечения санитарно-гигиенического норматива ПДК в рабочей зоне сварщика. Традиционно анализ ведётся на самый токсичный оксид азота, а норматив качества воздуха помещений для углекислого газа до недавнего времени в отечественных документах отсутствовал. Лишь гигиениче-

The minimum temperature in the heat gas-air jet formed during welding was received at points "T2" and "T3". In experiment No. 2, when air was supplied to the front of the welder, there was a stable effect of the lowest temperatures at all the measuring points.

Thus, the comparison of the experimental data shown in Fig. 3 and Fig. 4, makes it possible to draw the following conclusions:

— the maximum temperature in the pit is at the point T1 corresponding to the greatest depth, which is closest to the source of the of contaminants emission during welding;

— study of different ventilation modes of inspection pit shows that in experiments No. 1 (welding without fan) and No. 4 (Air flow from the side), there is the temperature increase and the deterioration of working conditions of the welder;

— with a decrease in the depth of immersion of the measuring points z in the pit the temperature of the air-gas environment is reduced, and in experiment No. 2, when air is supplied to the front of the welder, there is a stable effect of the lowest temperatures at all measuring points.

Fig. 5 and Fig. 6 present experimental data on the concentration of harmful substances and carbon dioxide.

Control of concentrations of harmful substances and carbon dioxide, produced by oxy-acetylene welding, is important from the point of view of ensuring sanitary-and-hygienic standard MPC in the working zone of the welder. Traditionally, the analysis is conducted on the most toxic nitrogen oxide, and until recently in the national documents there was no quality standard of indoor air for carbon dioxide. Only hygienic standards [7] in 2006

скими нормативами [7] в 2006 году была введена максимально разовая ПДК, равная 13 790 *ppm* (27 000 мг/м^3), и среднесменная ПДК, равная 4 597 *ppm* (9 000 мг/м^3), для воздуха рабочей зоны производственных помещений. Тем не менее, в соответствии с ГОСТ 8050–85 [8], при концентрациях более 5 % двуокись углерода оказывает вредное влияние на здоровье человека. При этом снижается объемная доля кислорода в воздухе, что может вызвать явление кислородной недостаточности и удушья. Поэтому в экспериментальных исследованиях авторами было уделено внимание и концентрации CO_2 [9].

introduced the maximum one-time MPC, which was 13 790 *ppm* (27 000 mg/m^3), and time-weighted average MPC, which was 4 597 *ppm* (9 000 mg/m^3) for air of the working zone of production areas. However, in accordance with GOST 8050-85 [8], at concentrations greater than 5 % carbon dioxide has a harmful effect on human health. This reduces the volume concentration of oxygen in the air that can cause lack of oxygen and suffocation. Therefore, in the experimental studies the authors have paid attention to concentration of CO^2 [9].

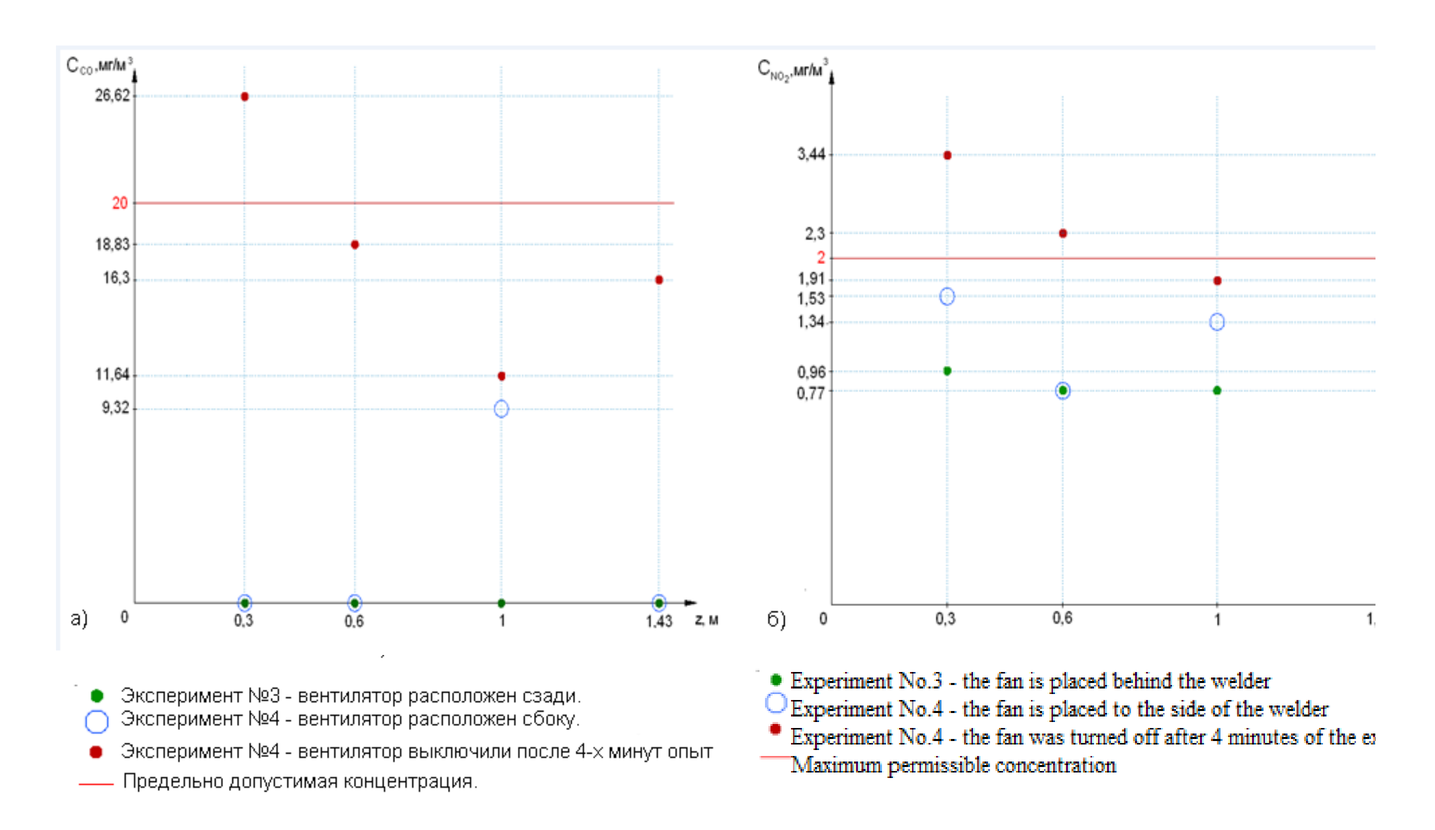


Рис. 5. Концентрации вредных веществ в измерительных точках смотровой ямы на разной глубине при проведении экспериментов № 3 и № 4

Fig. 5. Concentration of harmful substances at the measuring points of the observation pit at different depths in the experiments No. 3 and No. 4

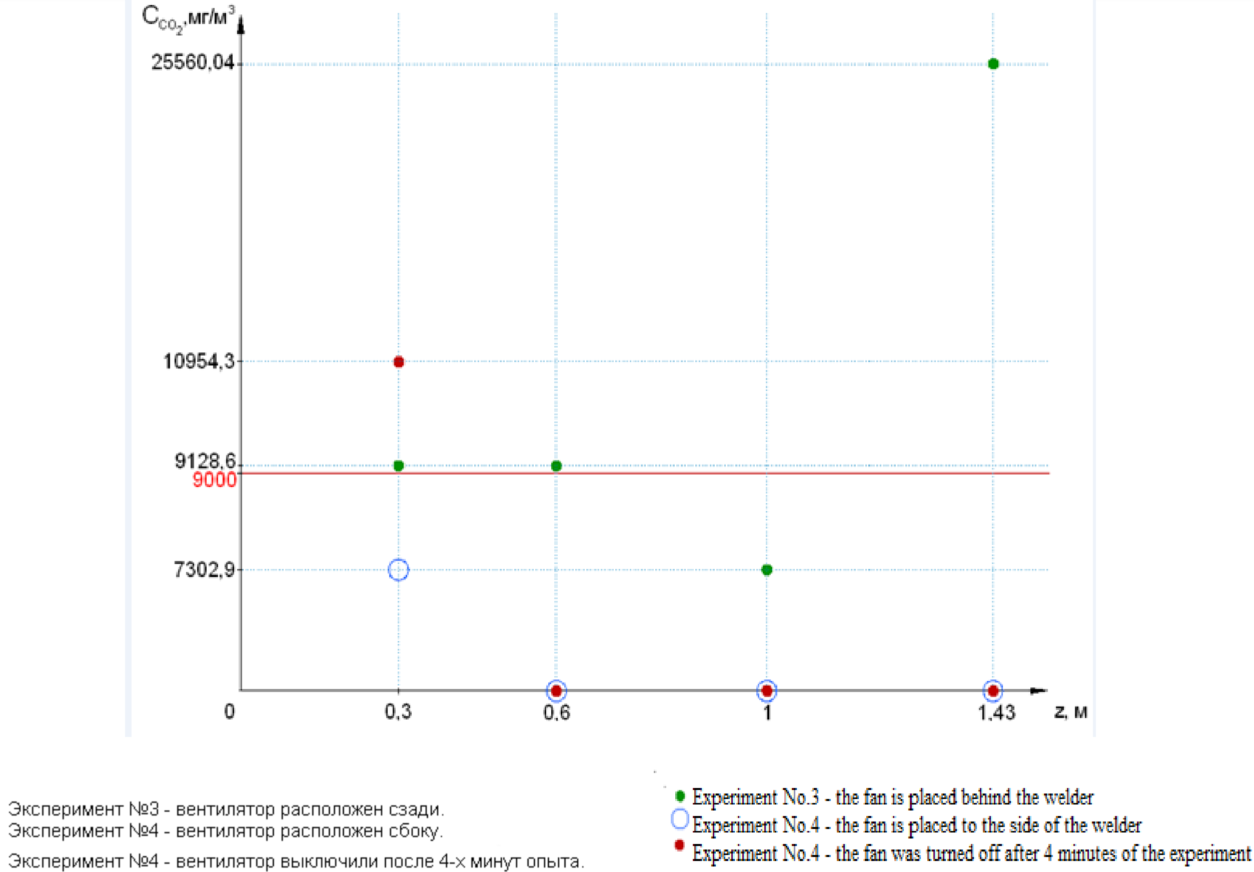


Рис. 6. Концентрации углекислого газа в измерительных точках смотровой ямы на разной глубине при проведении экспериментов № 3 и № 4

Fig. 6. Carbon dioxide concentration at the measuring points of the observation pit at different depths in the experiments No. 3 and No. 4

На рис. 5, *а*, *б* представлены результаты замеров газоанализатором концентраций угарного газа и оксида азота NO_2 в измерительных точках смотровой ямы на разной глубине при проведении экспериментов № 3 и № 4. Концентрации превысили ПДК именно в этих наихудших режимах вентилирования смотровой ямы и достигли максимума в эксперименте № 4 после отключения вентилятора в точке «Т1».

При всех равных условиях на максимальных глубинах смотровой ямы в точках «Т1» и «Т5» имеют место максимальные концентрации как вредных веществ, так и углекислого газа. Эксперименты длились не более 5 мин, однако уже за это время по всем исследуемым веществам можно было наблюдать превышение ПДК. Очевидно, что с увеличением времени сварки (действия источника

Fig. 5, a and b present the results of measurements by analyzer concentrations of carbon monoxide and nitrogen oxide NO_2 at the measuring points of the observation pit at different depths in the experiments No. 3 and No. 4. Concentrations exceeded MPC exactly in these cases of worst ventilation of inspection pit and reached the maximum in the experiment No. 4, after turning off the fan at the point "T1".

All things being equal at the maximum depths of the inspection pit at the points "T1" and "T5" we have the maximum concentration of harmful substances and carbon dioxide. Experiments lasted no more than 5 min, however, during this time, all of the investigated substances exceeded MPC. It is obvious that with increase of welding time (the source of

загрязнения) картина загазованности будет ухудшаться, концентрации расти. Причина данного эффекта состоит в том, что в углах смотровой ямы создаются застойные зоны, которые не проветриваются большим вихрем, образованным устойчивым конвективным переносом сварочных аэрозолей и газов вертикально вверх.

Сопоставление экспериментальных данных, полученных в ходе проведённых исследований, показывает, что картина температурных полей и концентраций схожа, максимумы наблюдаются в точках наибольшей глубины расположения измерительных точек, а из всех режимов проветривания объекта наихудшими вариантами стали эксперименты № 3 и № 4.

Выводы. Проведённые измерения концентраций вредных веществ и углекислого газа, образующихся при ацетилено-кислородной сварке, показали, что они превышают санитарно-гигиенический норматив ПДК, установленный для рабочей зоны. Стеснённые условия сварочных работ создают неблагоприятные условия и по концентрации СО2 в воздухе рабочей зоны. При длительном ведении таких работ у сварщика возникает патология, связанная с недостатком кислорода в воздухе. Аналогичные исследования по температуре воздуха рабочей зоны показали, что сварщик находится в неблагоприятных условиях производственного микроклимата, прежде всего по температуре.

Полученные результаты и предварительно проведённые модельные расчёты позволили выработать требования к необходимым условиям верификации математической модели и прежде всего требования к планированию и проведению экспериментов:

1. Эксперимент должен длиться до установления состояния теп-лового равновесия, когда с течением времени температуры и концентрации в измерительных точках перестают изменятся. По опыту предыдущих исследований авторов, это время составляет 15–20 минут, то есть значительно превышает

pollution) gas accumulation will be worse, concentration will grow. The reason for this effect is that in the corners of the observation pit stagnant zones are created, which are not ventilated by a large vortex formed by a stable convective transfer of welding fumes and gases vertically upwards.

The comparison of the experimental data obtained in the course of the conducted studies, shows that the pattern of temperature fields and concentrations are similar, the maximums are observed at the points of greatest depth of the location of the measuring points and of all the modes of ventilation of the object the worst options become the experiments No. 3 and No. 4.

Conclusion. The measured concentrations of harmful substances and carbon dioxide, produced by oxyacetylene welding, have shown that they exceed hygienic standard MPC set for the work area. Cramped conditions of welding operations create non-favorable conditions taking into account CO_2 concentrations in the air of working zone. Prolonged maintenance of such works causes the welder to have the pathology associated with the lack of oxygen in the air. Similar studies on the temperature of the working area showed that the welder is in non-favorable conditions of production microclimate, and first of all it is temperature.

The obtained results and preliminary model calculations made it possible to formulate the requirements to the verification of the mathematical model and especially the requirements for planning and conducting experiments:

1. The experiment should last until the state of thermal equilibrium is established, when over time the temperature and concentration at the measuring points stops changing. According to the experience of previous studies, it is about 15-20 minutes, which is much higher than the formation time of the thermal jet dur-

время формирования тепловой струи при сварке.

2. Для верификации математической модели тепломассопереноса загрязнений необходимы точные детальные знания о источнике загрязнения, полученные не на основании паспортных характеристик сварочного оборудования или в результате расчётов, а путем измерения необходимых параметров. В настоящих экспериментах при ацетилено-кислородной сварке измерялись расходы кислорода и ацетилена, поступающие на газовую горелку.

Сформулированные требования необходимо учесть при планировании последующих экспериментов, например, в опытах с порошковой проволокой INNERSHIELD.

ing welding.

2. For verification of the mathematical model of heat and mass transfer of contaminants it is necessary to have accurate detailed knowledge of the source of pollution, obtained neither on the basis of the specification of welding equipment nor as a result of calculations, but by measurements of the required parameters. In these experiments during oxyacetylene welding the authors measured the amount of oxygen and acetylene supplied to a gas burner.

The requirements are needed to be considered when planning future experiments, for example, in experiments with flux-cored wire *INNERSHIELD.*

Библиографический список

1. Гайденко, А. Л. Моделирование тепломассопереноса загрязнений при сварочных работах в стеснённых условиях / А. Л. Гайденко, А. Н. Ситников, Ю. И. Булыгин, Д. А. Корончик, Л. Н. Алексеенко // Фундаментальные и прикладные исследования в России: проблемы и перспективы развития : материалы II всероссийской науч.-практич. конф. — Ростов-на-Дону, 2015. — С. 82–97.

2. Методология и принципы поиска решений, обеспечения безопасности работы сварщиков в стеснённых условиях и на труднодоступных объектах / Д. А. Корончик [и др.] // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2016. — Т. 16, № 3 (86). — С. 41–47.

3. Установки ацетиленовые : ГОСТ 12.2.054–81 [Электронный ресурс] / ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы» ; Федеральное агентство по техническому регули-

References

1. Gaidenko A.L., Sitnikov A.N., Bulygin Y.I., Koronchik D.A., Alekseenko L.N. Modelirovanie teplomassoperenosa zagryazneniy pri svarochnykh rabotakh v stesnennykh usloviyakh. [Simulation of heat and mass transfer of contaminants in the process of welding in cramped conditions.] Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v Rossii: problemy i perspektivy razvitiya: materialy II vserossiyskoy nauch.-praktich. konf. [Fundamental and applied research in Russia: problems and prospects: proc. of II all-Russian scientific.-practical. conf.]— Rostov-on-Don, 2015, pp. 82-97 (in Russian).

2. Koronchik D.A. et al. Metodologiya i printsipy poiska resheniy, obespecheniya bezopasnosti raboty svarshchikov v stesnennykh usloviyakh i na trudnodostupnykh ob'ektakh. [Methodology and principles to find solutions that ensure the safe operation of welders in cramped conditions and difficult to access objects.] Vestnik DSTU, 2016, vol. 16, no. 3 (86), pp. 41-47 (in Russian).

3. Ustanovki atsetilenovye: GOST 12.2.054–81 [The acetylene installations: GOST 12.2.054–81] Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skyy institut metrologicheskoy sluzhby, Federal'noe agenstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i

рованию и метрологии // Электрон. Фонд правовой и норматив.-техн. документации / Консорциум «Кодекс». — Режим доступа : http: // docs.cntd.ru / document / 1200012532 (дата обращения : 21.10.16).

4. Тищенко, Н. Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе / Н. Ф. Тищенко. — Москва : Химия, 1991. — 368 с.

5. Рыкалин, Н. Н. Расчёты тепловых процессов при сварке // Н. Н. Рыкалин. — Москва : Машиностроение, 1951. — 296 с.

6. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны : гигиенические нормативы ГН 2.2.5.2100-06. 81 [Электронный ресурс] / ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы» ; Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии // Электрон. Фонд правовой и норматив.-техн. документации / Консорциум «Кодекс». — Режим доступа : http: // docs.cntd.ru / document / 90201567 (дата обращения : 31.10.16).

7. Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия : ГОСТ 8050–85 [Электронный ресурс] / ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы» ; Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии // Электрон. Фонд правовой и норматив.-техн. документации / Консорциум «Кодекс». — Режим доступа : http:

metrologii, Elektron. Fond pravovoy i normativ.-tekh. dokumentatsii, Konsortsium "Kodeks". [All-Russian research Institute of metrological service, Federal Agency for technical regulation and Metrology, Electron. Fund of legal and norm.-tech. documentation, Consortium "Kodeks".] Available at: http: // docs.cntd.ru / document / 1200012532 (accessed: 21.10.16) (in Russian).

4. Tishchenko N.F. Okhrana atmosfernogo vozdukha. Raschet soderzhaniya vrednykh veshchestv i ikh raspredelenie v vozdukhe. [Protection of atmospheric air. Calculation of the content of harmful substances and their distribution in the air.] Moscow: Khimiya, 1991, 368 p. (in Russian).

5. Rykalin N. N. Raschety teplovykh protsessov pri svarke. [Calculations of thermal processes in welding.] Moscow: Mashinostroenie, 1951, 296 p. (in Russian).

6. Predel’no dopustimye kontesentratsii (PDK) vrednykh veshchestv v vozduhe rabochey zony: gigienichesskie normativy GN 2.2.5.2100-06]. [The maximum permissible concentration (MPC) of harmful substances in the air of working zone: hygienic regulations GN 2.2.5.2100-06]. Vserossiyskiy nauchno-issledovatel’skyy institut metrologicheskoy sluzhby, Federal’noe agenstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii, Elektron. Fond pravovoy i normativ.-tekh. dokumentatsii, Konsortsium "Kodeks". [All-Russian research Institute of metrological service, Federal Agency for technical regulation and Metrology, Electron. Fund of legal and norm.-tech. documentation, Consortium "Kodeks".]. Available at: http: // docs.cntd.ru / document / 90201567 (accessed: 31.10.16) (in Russian).

7. Dvuokis ugleroda gazoobraznaya i zhidkaya. Tekhnicheskie usloviya: GOST 8050-85. [Gaseous and liquid carbon dioxide. Specifications: GOST 8050-85] Vserossiyskiy nauchno-issledovatel’skyy institut metrologicheskoy sluzhby, Federal’noe agenstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii, Elektron. Fond pravovoy i normativ.-tekh. dokumentatsii, Kon-

// docs.cntd.ru / document / gost–8050–85 (дата обращения : 31.10.16).

8. Гришагин, В. М. Санитарно-гигиенические условия сварочного производства и их особенности при сварке в CO_2 / В. М. Гришагин, В. Т. Федько, С. Б. Сапожков // Безопасность жизнедеятельности. — 2001. — № 10. — С. 25–34.

9. Николаев, Г. А. Сварка в машиностроении. Т. 1 / Г. А. Николаев [и др.]. — Москва : Машиностроение, 1978. — 504 с.

sortsium "Kodeks". [All-Russian research Institute of metrological service, Federal Agency for technical regulation and Metrology, Electron. Fund of legal and norm.-tech. documentation, Consortium "Kodeks".] Available at: http: // docs.cntd.ru / document / gost–8050–85 (accessed: 31.10.16) (in Russian).

8. Grishagin V.M., Fedko V.T, Sapozhkov S.B. Sanitarno-gigienicheskie usloviya svarochnogo proizvodstva i ikh osobennostipri svarke v CO2. [Sanitary and hygienic conditions of welding and their characteristics when welding in CO2.] Bezopasnosti’ zhiznedeyatel’nosti, 2001, no. 10, pp. 25-34 (in Russian).

9. Nikolaev G.A. et al. Svarka v mashinostroenii. [Welding in mechanical engineering. Vol. 1.] Moscow: Mashinostroenie, 978, 504 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 10.11.2016
Сдана в редакцию 10.11.2016
Запланирована в номер 15.12.2016

Received 10.11.2016
Submitted 10.11.2016
Scheduled in the issue 15.12.2016

Месхи Бесарион Чохоевич,
доктор технических наук, профессор,
ректор Донского государственного технического университета, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды», (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)

Корончик Денис Алексеевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), Koronchic@mail.ru

Булыгин Юрий Игоревич, доктор технических наук, профессор,
Профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1) bulyur_rostov@mail.ru

Besarion Chokhoyevich Meskhi,
Doctor of technical Science, Professor,
Rector, Head of the life and environment protection Department, Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)

Denis Alekseevich Koronchik, Candidate of technical Science, Senior lecturer, Life and environment protection Department, Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)
Koronchic@mail.ru

Yury Igorevich Bulygin, Doctor of technical Science, Professor, Life and environment protection Department, Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)
bulyur_rostov@mail.ru

Черевань Юлия Сергеевна,
Магистрант Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)
cherevan.jul@yandex.ru

Стрекоз Марина Николаевна
Магистрант Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1) mstrekoz@mail.ru

Yuliya Sergeevna Cherevan, Graduate student, Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)
cherevan.jul@yandex.ru

Marina Nikolaevna Strekoz, Graduate student, Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)
mstrekoz@mail.ru